

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. September 2002 (19.09.2002)

PCT

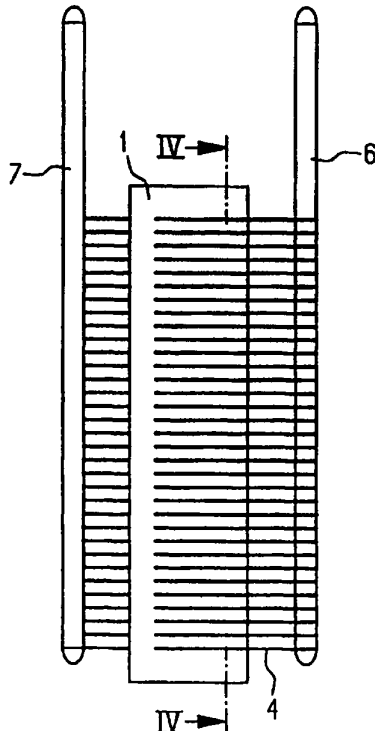
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/073656 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L** (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **CRAMER, Dieter**  
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/00947** [DE/AT]; Breitenweg 7F, A-8042 Graz (AT). **KAINZ,**  
**Gerald** [AT/AT]; Merangasse 56, A-8010 Graz (AT).  
(22) Internationales Anmeldedatum: **SCHUH, Carsten** [DE/DE]; Brunnenstrasse 73, 85598  
13. März 2001 (13.03.2001) Baldham (DE).  
(25) Einreichungssprache: **Deutsch** (74) **Anwalt: EPPING HERMANN & FISCHER GBR;**  
Postfach 12 10 26, 80034 München (DE).  
(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** (81) **Bestimmungsstaaten (national): JP, US.**  
(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von** (84) **Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,**  
**US): EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81541 **BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,**  
**München (DE).** **NL, PT, SE, TR).**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** PIEZOACTUATOR COMPRISING ELECTRIC CONTACTING WITHOUT ISOLATION ZONES AND METHOD  
FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) **Bezeichnung:** PIEZOAKTOR MIT ISOLATIONSZONENFREIER ELEKTRISCHER KONTAKTIERUNG UND VERFAH-  
REN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) **Abstract:** The electrode layers (3, 5) of the multilayer actuator extend without isolation zones over the entire cross-section of the stack, up to the lateral surfaces of said stack (1), where for each separate electrode layer (3, 5) a horizontal metallised section (2), which runs along at least part of the stack periphery, is applied to the respective electrode layer (3, 5). The metallised sections (2) can be additionally contacted, in particular by means of horizontal, parallel contact wires.

(57) **Zusammenfassung:** Die Elektroden-schichten (3, 5) des Vielschichtaktors erstrecken sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1), wo für jede Elektroden-schicht (3, 5) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektroden-schicht (3, 5) mindestens über einen Teil des Stapelumfanges entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist. Eine Weiterkontaktierung der Metallisierungen (2) insbesondere mit horizontale, parallele Kontaktierungsdrähte ist möglich.

WO 02/073656 A2



**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Beschreibung

(54) Bezeichnung: PIEZOAKTOR MIT ISOLATIONSZONENFREIER ELEKTRISCHER KONTAKTIERUNG UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG

Piezoaktor mit isolationszonenfreier elektrischer Kontaktierung und Verfahren zu dessen Herstellung

5

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (8) und Elektrodenschichten (3,5) alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet sind, bei dem die Elektrodenschichten  
10 (3,5) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (1) aufgebrachten Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontaktierung verbunden sind, und bei dem für jede Elektrodenschicht (3,5) separat eine horizontale, an der  
15 jeweiligen Elektrodenschicht (3,5) mindestens über einen Teil des Stapelumfanges entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist.

Ein Piezoaktor ist beispielsweise in der DE 196 46 676 C1  
20 ausführlich beschrieben. Bei derartigen Piezokeramiken wird der Effekt ausgenutzt, daß diese sich unter einem mechanischen Druck bzw. Zug aufladen und andererseits bei Anlegen einer elektrischen Spannung entlang der Hauptachse der Keramikschicht ausdehnen. Zur Vervielfachung der nutzbaren Längenausdehnung werden monolithische Vielschichtaktoren verwendet, die aus einem gesinterten Stapel dünner Folien aus Piezokeramik (z.B. Bleizirkonattitanat) mit eingelagerten metallischen Innenelektroden bestehen. Die Innenelektroden sind  
25 wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet. Auf den beiden Kontaktseiten des bis zu ca. 40 mm hohen Stapels ist hierzu jeweils eine streifen- oder bandförmige, durchgehende Außenmetallisierung aufgebracht, die mit allen Innenelektroden gleicher Polarität verbunden ist. Zwischen Außenmetallisierung  
30 und elektrischen Anschlüssen wird häufig noch eine in vielen Formen ausführbare Weiterkontaktierung, z. B. ein Cu-kaschierter Kaptonfolienstreifen, aufgebracht. Legt man eine  
35

elektrische Spannung an die Außenkontaktierung, so dehnen sich die Piezofolien in Feldrichtung aus. Durch die mechanische Serienschaltung der einzelnen Piezofolien wird die Nenn-  
5 elektrische Spannungen erreicht.

Derartige Aktoren sind durch den mechanischen Hub einer erheblichen Belastung ausgesetzt. Von entscheidender Bedeutung für die Lebensdauer von Multilayeraktoren im dynamischen Betrieb ist, zur Erzielung hoher Zyklenzahlen und hoher Zuverlässigkeit, die elektrische Außenkontaktierung. Multilayeraktoren aktueller Bauform enthalten mehrere Hundert Innenelektroden, die üblicherweise durch Siebdrucken einer Silber-Palladium-Paste und anschließendes Cofiring mit den Keramik-  
10 schichten erzeugt werden. Diese Innenelektroden müssen zuverlässig und dauerhaft mit dem externen elektrischen Anschluß verbunden werden.

Die aus der DE 196 46 676 C1 bekannte Kontaktierungslösung erfolgt durch Einbringung von Isolationszonen in den Aktor mittels eines speziellen Innenelektrodenlayouts. In diesen Isolationszonen können die Innenelektroden gleicher Polarität separat durch eine vertikale, streifenförmige Außenmetallisierung miteinander verbunden werden. Diese Metallisierungsbahnen werden meistens noch mit einer Weiterkontaktierung, beispielsweise seitlich am Stapel überstehende Kontaktfahnen, und/oder weiteren Anschlußelementen versehen, um die Außenkontaktierung des Aktors zu vervollständigen.  
20

In den piezoelektrisch inaktiven Isolationszonen, die bisher in den Multilayeraufbau eingebracht werden, entstehen bei Ansteuerung des Piezoaktors mechanische Spannungen, die besonders im dynamischen Betrieb zu Delaminationsrissen und im weiteren Verlauf zu Kontaktunterbrechungen führen. Eine sukzessive Verringerung der erreichten Auslenkung bzw. ein kompletter Ausfall des Aktors ist die Folge.  
30  
35

Ein Piezoaktor nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 ist beispielsweise in der US 4,845,399 beschrieben. Dort sind außen am Aktor-Stapel die Innenelektroden durch stromlose Metallabscheidung unter Ausbildung erhabener horizontaler Metallisierungslinien verstärkt. Die Kontaktierung der Metallisierungslinien erfolgt durch im wesentlich vertikal verlaufende Anschlußbändchen oder -drähte, die seitlich am Stapel aufgebracht sind. Diese Anschlußbändchen oder -drähte können auch horizontale Abschnitte aufweisen oder einen zickzackförmigen oder wellenartigen Verlauf besitzen.

Ein Piezoaktor ist aus JP-A-6-232466 bekannt. Ein elektrostriktiver Aktor mit seitlich aufgebrachten horizontalen Metallisierungslinien ist aus JP-A-4-287984 bekannt.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, einen hinsichtlich der geschilderten Problematik verbesserten Piezoaktor der eingangs genannten Art und ein Verfahren zu seiner Herstellung bereitzustellen.

Erfindungsgemäß wird dieses Ziel bei einem Piezoaktor der eingangs genannten Art dadurch erreicht, daß die Elektroden-schichten sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels erstrecken, daß jede Metallisierung mit einem horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdraht verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektroden-schichten gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.

Durch ein Innenelektrodenlayout ohne inaktive Isolationszonen kann demnach erfindungsgemäß die Entstehung inhomogener mechanischer Spannungen im Aktor weitgehend verhindert werden. Die Möglichkeit zur separaten Kontaktierung jeder einzelnen Innenelektrode an der Aktoroberfläche wird durch horizontale,

hinsichtlich elektrischer Überschlge ausreichend zueinander beabstandete Einzelmetallisierungen geschaffen.

Die mechanische und elektrische Verbindung zwischen den horizontal angeordneten Metallisierungspunkten oder einer horizontalen Metallisierungslinie und den typischerweise stiftförmigen Anschlußelementen kann je nach den Gegebenheiten unterschiedlich vorgenommen werden. Eine für viele Anwendungssituationen vorteilhafte Anschlukonfiguration wird dadurch erreicht, daß die Elektrodenschichten unterschiedlicher Polarität durch Metallisierungen kontaktiert sind, die auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Stapels aufgebracht sind, so daß auf jeder dieser Seiten nur jede zweite Elektrodenschicht kontaktiert ist. Zum Auffangen mechanischer Spannungen erweist sich dabei besonders die erfindungsgemäß Konfiguration mit den seitlich überstehenden Kontaktierungsdrähten als vorteilhaft, bei der zu einer Polarität gehörende Kontaktierungsdrähte können insbesondere an zwei gegenüberliegenden Seiten in entgegengesetzte horizontale Richtungen parallel übereinander bis zu vertikal angeordneten Anschlußstiften weitergeführt sein.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines derartigen Piezoaktors umfaßt das Aufbringen horizontal verlaufender separierter metallischer Metallisierungspunkte oder Metallisierungslinien auf jede der sich bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels erstreckenden Elektrodenschichten mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt Figur 1 einen erfindungsgemäßen Piezoaktor mit Außenkontaktierung in einer Seitenansicht, Figur 2 einen Piezoaktor gemäß dem Stand der Technik mit Isolationszonen, Figur 3 den Aktor gemäß Figur 1 in einer Ansicht von oben,

Figur 4 in einem Ausschnitt die Verbindung zwischen Kontaktierungsdrähten und den mit Metallisierungslinien versehenem Aktor gemäß Figur 1 in Schnittdarstellung.

5 Figur 1 zeigt beispielhalber einen Stapel 1, dessen nur in Figur 4 erkennbare, mit horizontalen Metallisierungen 2 versehene Elektrodenschichten 3 und 5 mit horizontalen Kontaktierungsdrähten 4 verbunden sind. An der dem Betrachter zugewandten Seite des Stapels 1 sind alle Elektrodenschichten 3  
10 gleicher Polarität, also nur jede zweite Schicht im Stapel 1, über die einzelnen Kontaktierungsdrähte 4 kontaktiert, die, wie erkennbar, über den rechten Rand des Stapels 1 hinaus weitergeführt und mit einem ersten senkrechten Anschlußstift 6 verbunden sind. Analog sind auf der vom Betrachter abge-  
15 wandten Seite des Stapels 1 die Elektrodenschichten 5 gemeinsamer, aber der der Vorderseite entgegengesetzten Polarität durch parallel übereinander verlaufende Kontaktierungsdrähte 4 bis zu einem links neben dem Stapel 1 angeordneten zweiten senkrechten Anschlußstift 7 weitergeführt. Insgesamt ergibt  
20 sich eine entfernt einer Harfe ähnelnde Anschlußkonfiguration.

Figur 2 zeigt einen bekannten, aus zahlreichen Keramiksichten 8 und Elektrodenschichten 3 und 5 aufgebauten Stapel 1.  
25 Erkennbar sind die inaktiven Isolationszonen 9, die abwechselnd in gegenüberliegenden Ecken der aufeinander folgenden, hier sich nicht über den gesamten Stapelquerschnitt erstreckenden Elektrodenschichten 3 und 5 angeordnet sind. Dieser Aufbau ermöglicht, wie dargestellt, den gemeinsamen Anschluß  
30 aller Elektrodenschichten 3 gleicher Polarität durch ein vertikales Metallisierungsband 10, das gegebenenfalls durch eine seitlich überstehende Kontaktfahne 11 weiterkontaktierbar ist.

35 Figur 3 zeigt den Stapel 1 mit seitlich beabstandeten, sich diametral gegenüberstehenden Anschlußstiften 6 und 7. Etwaige

Dehnungen, Schwingungen etc. am Stapel 1 werden in den Kontaktierungsdrähten 4 abgebaut.

Figur 4 zeigt im Ausschnitt und in Schnittdarstellung die Ausführungsform gemäß Figur 1 und 3, bei der an zwei Seiten - und deshalb an jeder Seite jeweils nur jede zweite Elektrodenschicht, z. B. 3 - einzeln kontaktiert wird. Diese Variante erfordert eine Erhöhung des bisherigen Innenelektrodenabstandes von 80  $\mu\text{m}$  auf 200  $\mu\text{m}$ . Bei einseitig kontaktierten Stapeln wäre demnach ein Innenelektrodenabstand gleicher Polarität von ca. 400  $\mu\text{m}$  erforderlich. In jedem Fall lassen sich Metallisierungspunkte oder -linien auf einem gewünschten Teilbereich jeder Elektrodenschicht, genauer: auf die an die seitlichen Oberflächen des Stapels 1 anstoßende Außenkante der Elektrodenschichten 3 und 5, mittels Siebdruck und anschließendem Einbrand realisieren. Diese ausreichend beabstandeten Metallisierungen bleiben auch bei Feldstärken um 2 kV/mm streng separiert. Typische Abmessungen einer solchen Metallisierungslinie sind 60  $\mu\text{m}$  Breite und 4 mm Länge. Die Kontaktierungsdrähte 4 weisen einen Durchmesser von typischerweise 0,05 mm auf. Die Dicke der Elektrodenschichten 3 und 5 beträgt z.B. 0,003 mm.

Mit dem erhöhten Innenelektrodenabstand geht eine verringerte Anzahl von Keramikschichten bzw. eine erhöhte Dicke derselben einher. Dies führt zwar zu einer höheren Spannung, die für ein Ansprechen der mit größerer Dicke als bisher verwendeten Keramikschichten erforderlich ist. Unter Kostengesichtspunkten ist jedoch die Verringerung des insgesamt notwendigen Innenelektrodenmaterials (Ag-Pd) wesentlicher.

Auf den beiden Seiten des Stapels 1 kann jede derart kontaktierte, also jede zweite, Elektrodenschicht 3 bzw. 5 einzeln mit einem der parallel laufenden Kontaktierungsdrähte 4 in einem Lötprozess (Bügel-lötanlage oder Laserlötanlage) verbunden werden. Es lassen sich demnach hinsichtlich Lebensdauer



und Zuverlässigkeit optimierte Multilayeraktoren großserien-  
tauglich fertigen.

## Patentansprüche

1. Piezoaktor in Vielschichtbauweise, bei dem piezoelektrische Keramikschichten (8) und Elektrodenschichten (3,5) alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet sind, und bei dem die Elektrodenschichten (3,5) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität mit seitlich am Stapel (1) aufgetragenen Metallisierungen (2) verbunden sind, die wiederum elektrisch leitend mit einer Weiterkontaktierung verbunden sind, bei dem für jede Elektrodenschicht (3,5) separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektrodenschicht (3,5) mindestens über einen Teil des Stapelumfangs entlanglaufende Metallisierung (2) aufgebracht ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenschichten (3,5) sich isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1) erstrecken, daß jede Metallisierung (2) mit einem eigenen, horizontal über einen Teil einer Seite des Stapels (1) und seitlich darüber hinaus verlaufenden Kontaktierungsdraht (4) verbunden ist, und daß die Enden der seitlich überstehenden Bereiche der zu Elektrodenschichten (3,5) gleicher Polarität gehörenden Kontaktierungsdrähte (4) mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sind.
2. Piezoaktor nach Anspruch 1, bei dem die Metallisierung (2) als horizontal nebeneinander angeordnete Metallisierungspunkte oder horizontal verlaufende Metallisierungslinie aufgebracht ist.
3. Piezoaktor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Elektrodenschichten (3,5) unterschiedlicher Polarität durch Metallisierungen (2) kontaktiert sind, die auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Stapels (1) aufgebracht sind, so daß auf jeder dieser Seiten nur jede zweite Elektrodenschicht (3,5) kontaktiert ist.

4. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
bei dem an einer Seite des Stapels (1) die überstehenden En-  
den der horizontalen Kontaktierungsdrähte (4) parallel zuein-  
ander bis zu einem ersten vertikalen Anschlußstift (6) ge-  
5 führt und mit diesem elektrisch verbunden sind, während an  
der gegenüberliegenden Seite des Stapels (1) die Kontaktie-  
rungsdrähte (4) in gleicher Weise, jedoch in entgegengesetzte  
horizontale Richtung, zu einem zweiten vertikalen Anschluß-  
stift (7) geführt und mit diesem elektrisch verbunden sind.
- 10
5. Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors nach einem der  
Ansprüche 1 bis 4,  
bei dem horizontal verlaufende separierte metallische Metal-  
lisierungspunkte oder Metallisierungslinien (2) auf jede der  
15 sich bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels (1) er-  
streckenden Elektrodenschichten (3,5) mittels Siebdruck und  
anschließendem Einbrand aufgebracht werden und  
bei dem die aufgetragenen und eingebrannten Metallisierungen  
(2) in einem Lötprozess mit jeweils einem der parallel über-  
20 einander verlaufenden Kontaktierungsdrähte (4) so verbunden  
werden, daß sie seitlich des Stapels überstehen.

1/2

FIG 1

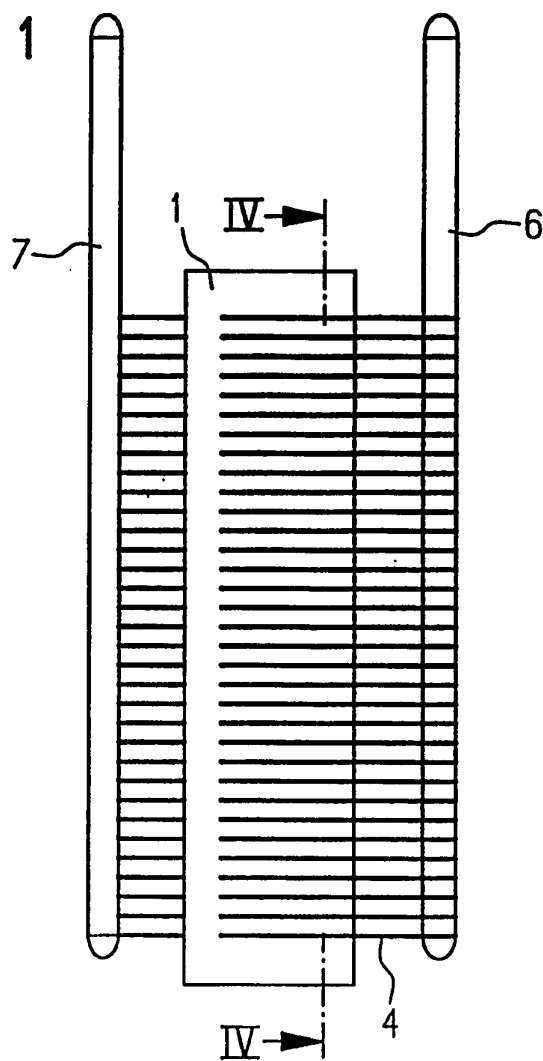
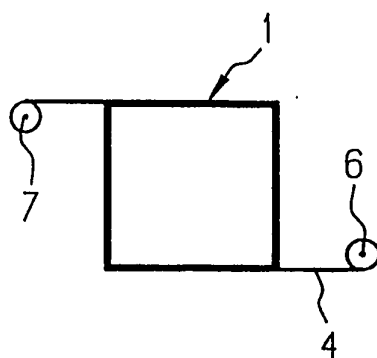


FIG 3



2/2

FIG 2

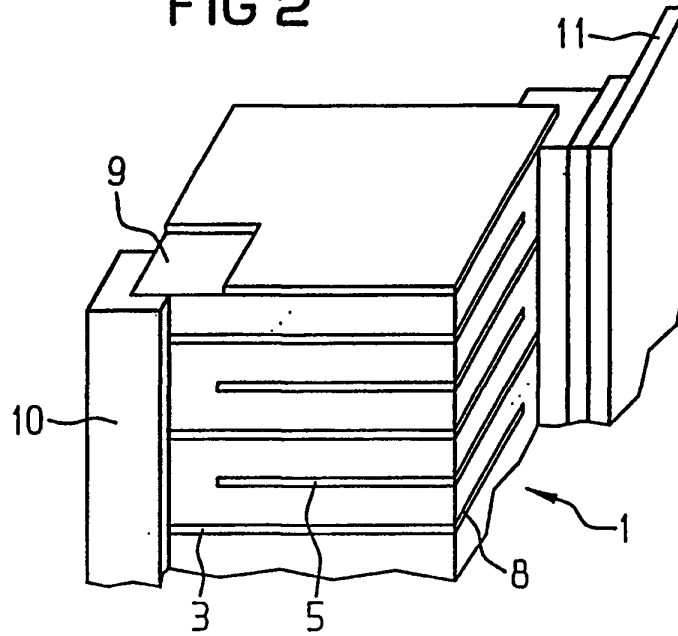


FIG 4

